

PEMANFAATAN FLY ASH BATUBARA SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENYISIHAN COD DARI LIMBAH CAIR DOMESTIK RUMAH SUSUN WONOREJO SURABAYA

Ari Dwi Cahyono dan Tuhu Agung R.
Progdi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
email : tuhuagung@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pemanfaatan fly ash batubara sebagai adsorben untuk menyisihkan senyawa organik, mengetahui efisiensi penyisihan senyawa organik dengan menggunakan fly ash sebagai adsorben. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah massa abu batubara dengan kisaran 1 sampai dengan 5 gram, waktu agitasi pada kisaran 30 – 150 menit. Sedangkan ketetapan yang digunakan adalah kecepatan putaran paddle pada tangki berpengaduk 150 Rpm. Hasil terbaik yang diperoleh dari penelitian ini yaitu pada massa adsorben 5 gram dan waktu pengadukan 150 menit menghasilkan penyisihan COD sebesar 91,11 % dengan penurunan kadar awal 540 mg/l menjadi 48 mg/l, nilai ini sudah memenuhi syarat baku mutu sesuai Kep Men LH N0.112 Tahun 2003 yaitu 100 mg/l.

Kata kunci: abu batubara (fly ash), adsorpsi, COD

ABSTRACT

The objective of this research is to know the use of coal's fly ash as adsorben to remove dissolved organic material, to know the efficiency of the remove organic material by using fly ash as adsorben. The variable that used in this research is the mass of the coal's ash from 1 until 5 gram, the agitation time between 30-150 minutes. While the constancy that used is the paddle circle speed on the tank for the liquids stirring of 150 rpm. The best result from this research is that the adsorben mass of 5 gram and the stirring time of 150 minutes produce isolating COD of 91,11 % with the decreasing early content 540 mg/l became 48 mg/l, this score has already meet the standard condition based on Kep Men No.112 of 2003 that is 100 mg/

Keyword: fly ash, adsorption, COD

PENDAHULUAN

Proses pembakaran batubara untuk menghasilkan tenaga dalam industri akan menghasilkan sisa pembakaran yang disebut abu terbang (fly ash), serta endapan abu (bottom ash) yang apabila tidak dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya akan dapat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan.

Berdasarkan tingkat kepadatan penduduk dan laju pertumbuhan yang setiap tahunnya meningkat di Indonesia. Maka semakin besar pula tingkat kebutuhan akan tempat tinggal yang nyaman serta memenuhi persyaratan lingkungan. Banyaknya masyarakat yang berpenghasilan masih di bawah rata-rata membuat banyaknya pemukiman kumuh yang terbangun dimana-mana. Salah satu upaya pemerintah guna memperbaiki lingkungan yang kumuh tapi tetap memperhatikan kesejahteraan penghuninya, serta memberikan kenyamanan bagi masyarakat perkotaan adalah dengan menyediakan rumah susun. Salah satu rusun (rumah susun) yang telah di bangun oleh pemerintah adalah Rumah Susun Wonorejo Surabaya. Dimana penghuni rumah susun tersebut adalah kebanyakan dari kelompok yang berpenghasilan menengah ke bawah. Banyak aktivitas yang di lakukan oleh penghuni rumah susun tersebut seperti mandi, cuci pakaian, cuci piring dll, semua kegiatan tersebut menghasilkan buangan yang disebut limbah domestik (limbah rumah tangga).

Metcalf & Eddy, (1993), menyatakan bahwa Air limbah domestik adalah cairan buangan dari rumah tangga, industri maupun tempat – tempat umum lain yang mengandung bahan – bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lain serta

mengganggu kelestarian lingkungan. Menurut Veenstra, (1995), menyatakan bahwa prinsip air limbah domestik terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu air limbah yang terdiri dari air buangan tubuh manusia yaitu tinja dan urine (black water) dan air limbah yang berasal dari buangan dapur dan kamar mandi (gray water), yang sebagian besar merupakan bahan organik.

Menurut Anggraini, (2005), Karakteristik air limbah dapat diukur dengan melihat sifat – sifatnya yang meliputi sifat fisik, kimia dan biologi yaitu :

Sifat Fisik

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Beberapa komposisi air limbah akan hilang apabila dilakukan pemanasan secara lambat. Sifat-sifat fisik yang mempengaruhi adalah :

1. Padatan (solid)

Padatan terdiri dari bahan padat organik maupun anorganik yang dapat larut, mengendap atau tersuspensi. Padatan tersuspensi di dasar badan air akan mengganggu kehidupan didalam badan air, dan akan mengalami dekomposisi yang dapat menurunkan kadar oksigen di dalam air.

2. Temperatur

Temperatur limbah mempengaruhi badan penerima jika terdapat temperatur yang cukup besar. Hal ini akan mempengaruhi kecepatan reaksi serta tata kehidupan dalam air. Perubahan suhu memperlihatkan aktivitas kimiawi dan biologi.

3. Kekeruhan (turbidity)

Kekeruhan menyebabkan penyimpangan sinar matahari, sehingga mengganggu kehidupan didalam badan air, dan akan mengalami dekomposisi yang dapat

menurunkan kadar oksigen dalam air, sehingga berpengaruh baik secara langsung atau tidak langsung terhadap organisme di badan air. (Gunawan, 2006)

Sifat Kimia

Kandungan bahan kimia yang ada dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Adapun bahan kimia yang terdapat pada limbah cair domestik adalah :

1. pH
pH adalah parameter untuk mengetahui intensitas tingkat keasaman atau kebasaan dari suatu larutan yang dinyatakan dengan konsentrasi ion hidrogen terlarut.
2. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)
Kebutuhan oksigen kimiawi (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik.
3. Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD)
Kebutuhan oksigen biologis (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua zat organik yang tersuspensi dalam air.
4. Dissolved Oxygen (DO)
DO adalah faktor yang menentukan apakah perubahan yang terjadi dalam air limbah disebabkan oleh proses aerob atau anaerob. Organisme aerob menggunakan oksigen bebas untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik dan anorganik menghasilkan senyawa akhir yang tidak berbahaya. (Gunawan, 2006)

Sifat Biologis

Menurut Wardana, (1999), menyatakan disetiap badan air, baik air alam maupun air buangan terdapat bakteri atau mikroorganisme. Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme terpenting dalam sistem penanganan

limbah. Bakteri ada yang bersifat patogen sehingga merugikan dan ada yang bersifat non patogen/ menguntungkan.

Senyawa organik adalah golongan besar senyawa kimia yang molekulnya mengandung karbon, kecuali karbida, karbonat, dan oksida karbon. Studi mengenai senyawa organik disebut kimia organik. Banyak di antara senyawa organik, seperti protein, lemak, dan karbohidrat, merupakan komponen penting dalam biokimia. Di antara beberapa golongan senyawa organik adalah senyawa alifatik, rantai karbon yang dapat diubah gugus fungsinya; hidrokarbon aromatic, senyawa yang mengandung paling tidak satu cincin benzene; senyawa heterosiklik yang mencakup atom-atom non karbon dalam struktur cincinnya; dan polimer, molekul rantai panjang gugus berulang. Perbedaan antara kimia organik dan anorganik adalah ada atau tidaknya ikatan karbon hydrogen. Sehingga asam karbonat termasuk anorganik, sedangkan asam format, asam lemak pertama organik.

Menurut Edy B., (2007), Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (mineral matter) karena dari proses pembakaran batubara pada unit penmbangkit uap (boiler) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash) Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10 - 20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80 - 90 % berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan electric precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong.

Sifat kimia dari abu batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang

dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan Loss On Ignition Method (LOI). (Adha, 2009).

Fly ash berwarna abu-abu hingga kehitaman warna kehitaman karena adanya karbon. Hal ini disebabkan pembakaran yang tidak sempurna. Ukuran dan bentuk karakteristik partikel fly ash sebenarnya bergantung pada asal bahan yang dibakar, derajat penghancuran, temperature, suplai oksigen, pembakaran yang merata, mayoritas fly ash seperti kaca, padat, berlubang seperti bola. Komposisi kimia pada fly ash pada umumnya tersusun dari senyawa silikat (SiO_2), Alumina Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3), Kalsium (CaO), Magnesium Oksida (MgO), Natrium Oksida (Na_2O), dan (SO_3).

Abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam antara lain (Anonim 2008) :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Recovery magnetit, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata dan refraktori
5. Bahan penggosok (polisher)
6. Filler aspal, plastik dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilizzation)
9. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

Menurut Benefield, (1982), Adsorpsi secara umum adalah proses

penggumpalan substansi terlarut (soluble) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia-fisika antara substansi dengan penyerapnya. Proses perlekatan dapat saja terjadi antara cairan dan gas, padatan, atau cairan lain.

Zat pengadsorpsi (adsorbent) adalah material yang sangat berpori. Lokasi proses adsorpsi terjadi pada dinding pori-pori atau letak tertentu dalam partikel adsorbent. Karena pori-pori itu biasanya sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde lebih besar daripada permukaan luar. Pemisahan terjadi karena perbedaan berat molekul atau karena perbedaan polaritas menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan itu lebih erat daripada molekul-molekul lainnya.

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik :

1. Luas Permukaan Adsorben

Semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.

2. Kemurnian Adsorben

Adsorben yang memiliki tingkat kemurnian tinggi, daya adsorpsinya lebih baik. (Imami, 2008).

Menurut Sawyer et al dalam masduqi 2000 proses adsorpsi pada umumnya dapat dibagi menjadi:

1. Adsorpsi Fisika (Van der Waals)

Adsorpsi fisika adalah suatu proses penjerapan dimana daya tarik van der waals atau gaya tarik yang lemah antar molekul menarik bahan terlarut dari larutan adsorbat ke dalam permukaan adsorben. Molekul yang teradsorpsi bebas

bergerak di sekitar permukaan adsorben dan tidak hanya menetap dengan adsorben itu lebih besar daripada gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi di permukaan adsorben (Jabarudin, 2010).

2. Adsorpsi Kimia

Penjerapan ini bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada penjerapan fisika. Ikatan adsorbat pada adsorpsi kimia biasanya terjadi tidak lebih dari satu lapisan. Secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari satu permukaan ke permukaan lainnya. Adsorpsi kimia menyebabkan terbentuknya suatu lapisan pada permukaan adsorben yang mempunyai sifat kimia lain sebagai akibat adanya reaksi adsorbat dengan adsorben. Pada proses kimia energi panas yang dibutuhkan untuk proses pengikatan sama dengan energi panas yang dilibatkan pada reaksi kimia, karena itu adsorpsi kimia mempunyai kemampuan adsorpsi lebih besar (Jabarudin, 2010).

3. Adsorpsi Pertukaran

Adsorpsi yang diperankan oleh tarikan listrik antara adsorbat dan permukaan adsorben. Ion dari suatu substansi banyak berperan dalam adsorpsi ini. Ion akan terkonsentrasi di permukaan adsorben sebagai hasil tarikan elektrostatik ke tempat yang bermuatan berlawanan di permukaan (Jabarudin, 2010).

Menurut Reynold, (1982), adsorpsi fisik terjadi karena adanya ikatan Van der Waals, dan bila ikatan tarik antar molekul zat terlarut dengan

zat penyerapnya lebih besar dari ikatan antara molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan dapat diadsorpsi. Sedangkan adsorpsi kimia menurut Benfield, (1982), merupakan hasil dari reaksi kimia antara molekul adsorbat dan adsorben dimana terjadi pertukaran elektron.

Mekanisme Menurut Benfield, (1982), Adsorpsi terhadap air buangan mempunyai tahapan proses seperti berikut :

1. Transfer molekul-molekul adsorbat menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi adsorbat melalui lapisan film (film diffusion).
3. Difusi adsorbat melalui kapiler atau pori-pori dalam adsorben (proses porediffusion)
4. Adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben. (Kasam, dkk, 2005).

Menurut Perrich (1981) dan beberapa faktor yang mempengaruhi laju dan besarnya adsorpsi yang menyebabkan kesulitan dalam pengembangan model yang akan diterapkan. Adapun faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi yaitu:

1. Luas permukaan adsorben.

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben. (Wijaya, 2008)

a. Ukuran partikel

Menurut Tchobanoglous, (1991) menyatakan bahwa Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0.1 mm, sedangkan ukuran diameter dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh.

- b. Waktu kontak
Menurut Reynolds, (1982), Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontakanya cukup dan waktu kontak berkisar 10 – 15 menit.
- c. Distribusi ukuran pori
Distribusi pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk kedalam partikel adsorben. (Wijaya, 2008)
- d. Pengadukan
Kecepatan adsorpsi selain dipengaruhi oleh difusi film dan difusi pori juga dipengaruhi oleh jumlah pengadukan dalam sistem tersebut. Jika proses agitasi yang dilakukan relatif kecil maka tahapan proses adsorpsi hanya terjadi hingga tahapan difusi film (Benefield, 1982)

METODE PENELITIAN

Bahan Yang Digunakan

1. Limbah abu batubara diambil dari sisa pembakaran batubara PT. Tjiwi kimia, Mojokerto
2. Limbah cair domestik yang diambil dari Rumah Susun Wonorejo, Surabaya.

Peralatan Penelitian :

1. Peralatan Tangki berpengaduk
2. Kertas saring
3. Gelas ukur
4. Stop Watch
5. Erlenmeyer
6. Pipet ukur
7. Buret
8. Corong
9. Timbangan
10. Botol Aqua

Variabel

Variabel yang diteliti :

1. Peubah waktu pada proses batch 30, 60, 90, 120, 150 menit
 2. Peubah berat fly ash 1 gr, 2 gr, 3gr, 4 gr, 5 gr
- Variabel Tetap :
1. Kecepatan putaran paddle pada tangki berpengaduk 150 rpm.
 2. Volume limbah 500 ml

Prosedur Kerja

1. Lakukan pemeriksaan air sampel terlebih dahulu untuk mengetahui konsentrasi COD
2. Siapkan Tangki berpengaduk ukuran 1 liter masing-masing diisi 500 ml sampel
3. Masukkan fly ash dengan peubah massa 1 gr kedalam Tangki berpengaduk yang berisi limbah cair domestik.
4. Kemudian diaduk menggunakan tangki berpengaduk dengan kecepatan 150 rpm, dengan variasi waktu 30 menit hingga mencapai hasil maksimal
5. Saring dan dianalisa kandungan COD nya
6. Lakukan percobaan seperti 1 s/d 5 untuk massa fly ash dan waktu yang berbeda

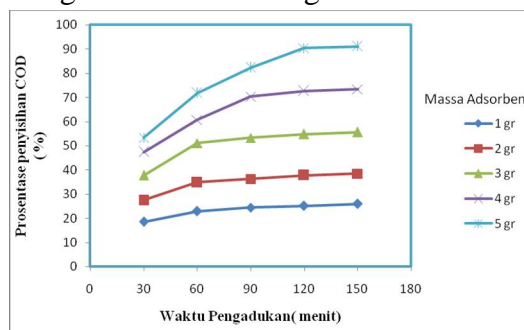
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium menggunakan limbah cair domestik dengan konsentrasi awal COD sebesar 540 mg/l. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil penyisihan bahan organik yang terkandung dalam air limbah domestik dengan media abu terbang batubara (fly ash), dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Percobaan dilakukan secara batch dengan menggunakan tangki berpengaduk dengan volume limbah

cair domestik 500 liter, kecepatan putaran paddle 150 rpm, peubah massa fly ash 1 - 5 gr dan waktu pengadukan 30 – 150 menit. Hasil penelitian disusun dalam bentuk tabel dan grafik yang merupakan pengaruh massa adsorben dan waktu pengadukan terhadap prosentase penyisihan COD. Pengaruh massa dan waktu pengadukan dalam proses adsorpsi merupakan faktor penting karena semakin besar massa fly ash dan semakin lama waktu pengadukan dalam adsorpsi maka prosentase penyisihan COD semakin meningkat. Untuk pengaruh massa dan waktu pengadukan terhadap prosentase penyisihan COD dapat dilihat pada grafik dibawah ini :

Pengaruh Waktu Pengadukan



Gambar 1 Hubungan antara lama waktu pengadukan terhadap prosentase penyisihan COD dengan berbagai peubah massa

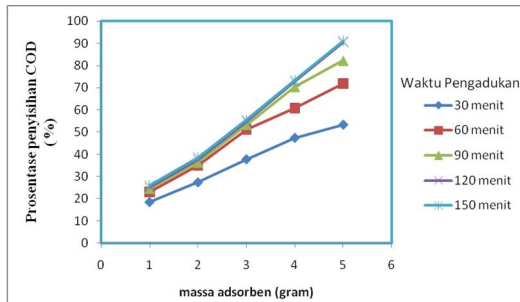
Berdasarkan Gambar 1 diatas dapat dilihat hubungan antara lama waktu pengadukan terhadap prosentase penyisihan COD dengan berbagai peubah massa maka didapat bahwa prosentase penyisihan COD tertinggi adalah 91,11 % dan terendah 18,51 %. Prosentase tertinggi terjadi pada berat 5 gram pada waktu pengadukan 150 menit. Sedangkan prosentase terendah terjadi pada massa 1 gram pada waktu pengadukan 30 menit. Prosentase rata-rata penurunan COD pada massa 1 gram adalah 23,40 %, untuk massa 2 gram adalah 34,95 %, pada massa 3 gram

adalah 50,51 %, pada massa 4 gram adalah 64,88 %, dan untuk massa 5 gram adalah 77,77 %.

Dapat di jelaskan bahwa setiap penambahan waktu pengadukan, prosentase penyisihan COD semakin meningkat, ini berarti penjerapannya semakin baik. Hal ini disebabkan karena waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat berangsur lama, maka kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi semakin besar sehingga banyak senyawa COD yang teradsorpsi. Terlihat bahwa efisiensi penyisihan COD terbesar dan maksimal terjadi pada waktu pengadukan 150 menit dengan massa 5 gram yaitu 91,11 %. Dari gambar diatas juga dapat dilihat bahwa kemampuan adsorban dalam menyisihkan COD mengalami prosentase penurunan, terlihat pada menit ke 120 sampai 150 terjadi sedikit penjerapan COD, dikarenakan fly ash sudah jenuh, sehingga hanya mampu menyerap sedikit COD dan mendekati jenuh. Hal ini disebabkan oleh pori – pori media fly ash yang berkurang kemampuannya dalam menyerap COD. Kondisi tersebut dimungkinkan pada waktu penyerapan sebelumnya pori – pori fly ash tertutup oleh setiap lapisan molekul yang terbentuk, dimana lapisan tersebut akan menutupi lapisan sebelumnya.

Penelitian sebelumnya juga menyatakan proses adsorpsi semakin baik dengan bertambahnya massa media dan penambahan waktu kontak. Waktu kontak merupakan faktor yang menentukan dalam proses adsorpsi, dan waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai nilai optimal tidaklah sama untuk setiap proses adsorpsi. (Rosariawari F,2008)

Pengaruh Massa adsorben



Gambar 2 Hubungan antara peubah massa adsorben terhadap prosentase penyisihan COD dengan berbagai waktu pengadukan

Dari gambar 2 diatas dapat jelaskan hubungan antara peubah massa adsorben terhadap prosentase penyisihan COD dengan berbagai waktu pengadukan dapat diketahui bahwa semakin besar massa adsorben maka prosentase penyisihan COD semakin meningkat. Hal ini disebabkan penambahan massa adsorben akan meningkatkan jumlah total luas permukaan dan jumlah pori yang digunakan untuk mengikat adsorbat dalam proses adsorpsi, sehingga COD lebih banyak yang terperap, di karenakan semakin besar massa adsorben, dan lama waktu pengadukan maka prosentase adsorpsi juga akan mengalami kenaikan. (Restu A, 2010). Hasil prosentase penyisihan COD terbaik yaitu terbesar 91,11 % atau konsentrasi akhir 48 mg/l dan telah memenuhi baku mutu yang telah dipersyaratkan sesuai dengan Kep Men LH No 112 yaitu 100 mg/l.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap limbah cair domestik yaitu limbah cair yang berada di daerah Rumah Susun Wonorejo Surabaya, dapat diambil kesimpulan seperti di bawah ini :

1. Abu terbang (fly ash) batubara dapat menurunkan parameter COD.

2. Kemampuan penyisihan kandungan COD limbah cair domestik dapat mencapai hasil terbaik yaitu 91,11 %. Hal ini terjadi pada waktu 150 menit dengan massa media fly ash 5 gram di dapat COD akhir sebesar 48 mg/l. Nilai ini sudah memenuhi baku mutu sesuai Kep Men LH N0.112 Tahun 2003 yaitu 100 mg/l.
3. Waktu kontak antara adsorbat dengan massa adsorben sangat mempengaruhi suatu proses adsorpsi. Semakin lama waktu kontak dan semakin banyak massa adsorben maka prosentase penyisihan COD semakin meningkat

DAFTAR PUSTAKA

Adha, A., 2009, "Pengaruh Penambahan Abu Batubara (fly ash) Pada Tanah Gambut Terhadap Kapasitas Dukung Tanah", Universitas Islam Indonesia Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil, Yogyakarta.

Afrianita, Reri, dkk, 2010, "Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Dalam Penyisihan Chemical Oxygen Demand (Cod) Dari Limbah Cair Domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Hotel Inna Muara, Padang)", No.33 Vol.1 Thn.XVII, Universitas Andalas.

Anonim, 2008, "Abu Batubara Sebagai Adsorben", majarimagazine.

Benefield, larry D, 1982, "Proses Chemistry For Water And Wastewater Treatment", Prentice Hall Inc., New Jersey.

Widiyati, C., 2005, "Stabilisasi Lumpur Kering Dari Limbah Cair Pengolahan Kulit Dengan Abu Layang".

Fakhrizal, 2004, "Mewaspadai Bahaya Limbah Domestik di Kali Mas", Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah.

Gunawan, Yuli, 2006, "Peluang Penerapan Produksi Bersih Pada Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Waste Water Treatment Plant, Studi Kasus Di Pt Badak Ngl Bontang", Universitas Diponegoro, Semarang.

Imami, khalif, 2008, "Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dengan Variasi Temperatur Masuk Fluida Saat Desorpsi", Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Jabarudin, Imam, 2010, "Pengolahan Air Payau Menjadi Air Tawar Secara Adsorpsi Dengan Media Arang Aktif dan Tembikar", Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim, Surabaya.

Kasam, dkk, 2005, "Penurunan COD (Chemical Oxygen Demand) dalam Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Filter Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa", Logika, Vol.2. No.2 Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII.

Munir, Misbachul, 2008, "Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) Untuk Hollow Block Yang Bermutu Dan Aman Bagi Lingkungan", Universitas Diponegoro, Semarang.

Restu, A., 2010, "Penurunan Kadar Phenol Dengan Memanfaatkan Bagasse Fly Ash dan Chitin Sebagai Adsorben".

Rosariawari, F., 2008, "Penurunan Konsentrasi Limbah Deterjen Menggunakan Furnace Bottom Ash (FBA)".

Supradata, 2005, "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus Alternifolius, L. Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (Ssf-Wetlands)".

Wijaya, Hanung, 2008, "Penggunaan Tanah Laterit Sebagai Media Adsorpsi Untuk Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Pengolahan Limbah Cair Di Rumah Sakit Baktiningsih Klepu", Yogyakarta.